

EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS ACEROS INOXIDABLES AISI-SAE 430 Y
AISI-SAE 304 EN AMBIENTES ALTAMENTE CORROSIVOS

SEBASTIÁN RAIGOSA BURITICÁ

PROYECTO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARA OPTAR AL TÍTULO
DE INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR:

PhD. JOSÉ LUIS TRISTANCHO REYES

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

PEREIRA

2019

Pereira, Marzo 2019

Nota de aceptación:

Firma del Director de Proyecto

DEDICATORIA

Este proceso está dedicado a Dios que es quien me permite llevar a cabo todo lo que me propongo cada día.

A Mónica Buriticá, mi madre, por haberme dado la vida y enseñarme todo lo que sé, gracias a ella por ser mi apoyo incondicional y ser quien me permitió empezar y culminar mi época de pregrado en esta universidad. A Sofía, mi hermana, por hacerme compañía en todo momento y dejarme encontrar en ella una razón por la cual salir adelante y ayudarle más adelante en su proceso educativo, son estas 2 mujeres las que siempre estuvieron en las caídas y los triunfos que tuve en el desarrollo de mi pregrado, sin contar todo lo que me han apoyado en otras actividades realizadas.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por permitirme estar aquí presente, posteriormente agradezco al laboratorio de ensayos no destructivos CECEND, encabezado por el Dr. José Luis Tristancho Reyes por el apoyo brindado en el desarrollo de este proyecto, comentarios, opiniones y observaciones que sirvieron para un análisis detallado y apropiado de cada uno de los aspectos a tener en cuenta, además de ser el director de este trabajo de investigación.

Agradezco a todo el equipo de investigación del laboratorio que gestionaron la manipulación de equipos junto con la toma de datos arrojados por el programa computacional, detrás de todo se encuentra la facultad de Ingeniería Mecánica entonces también los agradecimientos son para todo el grupo que compone la facultad.

Agradezco a mi familia y a la universidad en general por ser quienes me formaron como persona y como profesional respectivamente.

Contenido

INTRODUCCIÓN	9
OBJETIVOS	10
1. MARCO TEÓRICO	11
1.1. ACERO INOXIDABLE AISI-SAE 304.....	11
1.2. ACERO INOXIDABLE AISI-SAE 430.....	12
2. CORROSIÓN	13
2.1. CASOS DE CORROSIÓN.....	14
2.2. TIPOS DE CORROSIÓN	14
2.3. FACTORES MÁS TÍPICOS DE CORROSIÓN	16
3. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS	17
3.1. CURVAS DE POLARIZACIÓN Y EXTRAPOLACION DE TAFEL.....	17
3.2. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL (RPL).....	18
4. DESARROLLO Y PRUEBAS	20
4.1. PROBETAS.....	20
4.2. CELDAS ELECTROQUÍMICAS.....	20
4.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS.....	23
4.4. NOMENCLATURA DE ENSAYOS	26
5. RESULTADOS Y ANÁLISIS	30
5.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	30
5.2. CURVAS DE POLARIZACION O EXTRAPOLACIÓN TAFEL	31
5.3. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL (RPL).....	35
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS	42
7. CONCLUSIONES	45
8. REFERENCIAS	46

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Artesa en acero inoxidable.....	9
Figura 2. Composición química del AISI-SAE 304.....	11
Figura 3. Composición química del AISI-SAE 430.....	12
Figura 4. Probetas antes de tomar datos	13
Figura 5. Corrosión según tipo	14
Figura 7. Diagrama de Tafel	18
Figura 8. Diagrama de resistencia a la polarización lineal	18
Figura 9. Celda electroquímica	22
Figura 10. Montaje de probeta en celda electroquímica.....	23
Figura 11. Equipo potenciostato-galvanostato	24
Figura 12. Toma de datos	26
Figura 13. Curvas de polarización o extrapolación TAFEL.....	33
Figura 14. Ejemplo de gráfica arrojada por el programa.....	39
Figura 15. Probetas después de toma de datos	44

TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Área de contacto entre el electrodo y la solución líquida.....	20
Ilustración 2. Plano celda electroquímica vista frontal y tapas	21
Ilustración 3. Plano celda electroquímica vista superior, lateral y base	21

TABLA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 430 en Salmuera	34
Gráfica 2. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 430 en Ácido acético	34
Gráfica 3. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 304 en Salmuera	35
Gráfica 4. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 304 en Ácido acético	35
Gráfica 5. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 430 en Salmuera	40
Gráfica 6. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 430 en Ácido acético	40
Gráfica 7. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 304 en Salmuera	41
Gráfica 8. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 304 en Ácido acético	41
Gráfica 9. Comparación velocidad de corrosión en Salmuera	43
Gráfica 10. Comparación velocidad de corrosión en Ácido acético	43

INTRODUCCIÓN

En la industria alimenticia se han venido creando normas para la realización de las labores de fabricación de productos para el consumo humano, entre ellas se destacan las BPM (buenas prácticas de manufactura) que detallan sobre las medidas que se deben tomar por parte del fabricante para producir algún bien, las BPM abarcan toda la rama manufacturera, sin embargo, esta investigación se basará en las BPM sobre fabricación de alimentos, más exactamente en las artesas usadas en la industria.

Las artesas son mesas de trabajo que permanecerán en contacto tanto materia prima como producto terminado, siendo así, las artesas deben ser fabricadas de un material no contaminante, si no por el contrario, que cubra el alimento de toda contaminación para así no llegar a presentar inconvenientes en el organismo consumidor. Exactamente estas mesas deben ser de un material inoxidable, por lo que el tema central de la investigación es la evaluación electroquímica de 2 aceros inoxidables expuestos en ambientes altamente corrosivos.



Figura 1. Artesa en acero inoxidable

(Fuente: Equipos y hornos J S.A)

Dicho esto, el desarrollo del trabajo investigativo será por medio de 1 probeta de cada acero inoxidable (AISI-SAE 430 y AISI-SAE 304) que se evaluarán por técnicas electroquímicas de corriente directa, curvas de polarización (CP) y resistencia a la polarización lineal (RPL) al ser expuestas a ataque corrosivo en ácido acético al 3% y en solución salina al 3.5%W durante 0, 24, 48, 72 y 96 horas, determinando de esta manera cuál de las aleaciones presenta menor velocidad de corrosión.

La investigación de este proyecto fue basada en 4 etapas descritas así:

Explicación detallada de los conceptos necesarios para la buena interpretación y comprensión del tema tratado.

Descripción del procedimiento y metodología usada en el desarrollo del proyecto

Se evidencian los resultados obtenidos después de realizar las técnicas electroquímicas resistencia a la polarización y curvas de polarización o extrapolación de Tafel, aplicadas específicamente a las probetas de AISI-SAE 430 y AISI-SAE 304. También se muestra un análisis de los resultados nombrado anteriormente.

Conclusiones y recomendaciones que se lograron a partir de una investigación y la realización de pruebas, relacionando desarrollo con resultados obtenidos

OBJETIVOS

Evaluar el comportamiento ante ataque corrosivo por ácido acético al 3.0% y salmuera al 3.5% W de los aceros inoxidables AISI-SAE 304 y AISI-SAE 430 mediante técnicas electroquímicas de corriente directa.

1. MARCO TEÓRICO

1.1. ACERO INOXIDABLE AISI-SAE 304

El acero inoxidable tipo AISI-SAE 304 es uno de los inoxidables austeníticos (Cromo/Níquel) más comerciales del mercado, se prefiere en aplicaciones de soldadura para excluir la formación de carburos de cromo durante el enfriamiento en la región afectada por el calor de la soldadura.

Es realmente destacado por su resistencia a la corrosión y la facilidad de su fabricación; se caracteriza por dejarse soldar en la mayoría de las técnicas y se comercializa en láminas y tiras.

Elemento	Tipo 304
Carbón	0.07 máx.
Manganeso	2.00 máx.
Azufre	0.030 máx.
Fósforo	0.045 máx.
Silicio	0.75 máx.
Cromo	17.5 a 19.5
Níquel	8.0 a 10.5
Nitrógeno	0.10 máx.

Figura 2. Composición química del AISI-SAE 304

1.2. ACERO INOXIDABLE AISI-SAE 430

El acero inoxidable AISI-SAE 430 es un acero inoxidable ferrítico con bajo contenido de carbón, este tipo de inoxidable es resistente a la oxidación a temperaturas elevadas, este material es dúctil, no se endurece de manera fácil, sin embargo, puede moldearse mediante rollos o dobléz por estiramiento leve.

Elemento	Tipo 430
Carbón	0.12 máx.
Manganeso	1.00 máx.
Azufre	0.030 má.
Fósforo	0.040 máx.
Silicio	1.00 máx.
Cromo	16.0 a 18.0
Níquel	0.75 máx.

Figura 3. Composición química del AISI-SAE 430

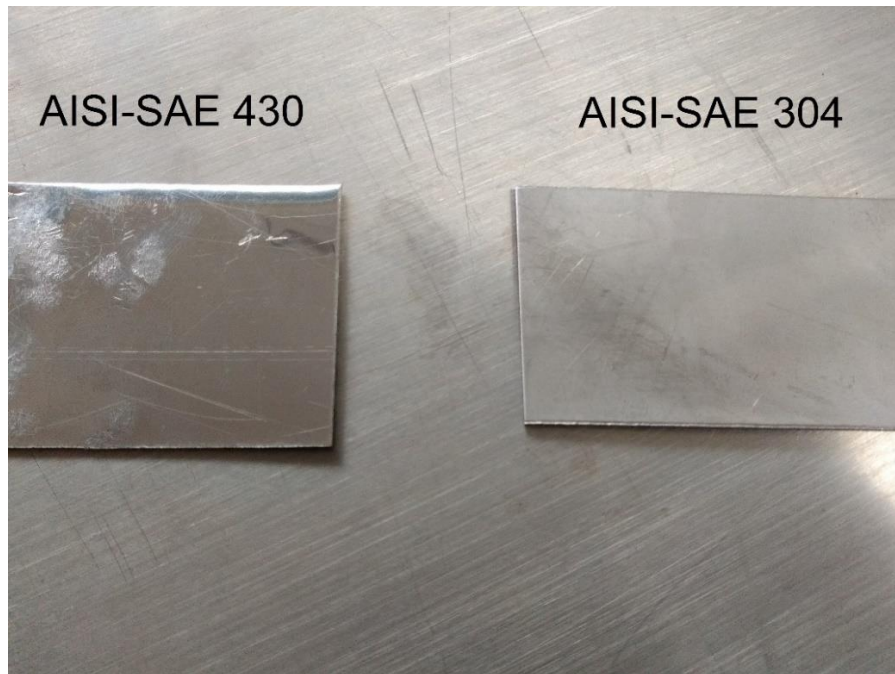


Figura 4. Probetas antes de tomar datos

2. CORROSIÓN

Se dice que la corrosión es el deterioro progresivo o continuo de algún material debido a la reacción generada por química o electroquímica en el medio ambiente al que se encuentra expuesto; cada material presenta una reacción diferente a todos los ambientes expuestos, el caso de los aceros al carbono presenta una reacción diferente respecto al aluminio en ambientes marinos.

La corrosión también se define como la pérdida del estado al cual el hombre lo sometió para volver a su naturalidad, este proceso también es acelerado por el oxígeno, el agua o productos químicos.

La corrosión es un fenómeno espontáneo que se presenta prácticamente en todos los materiales procesados por el hombre. Si bien existen varias definiciones, es común describir la corrosión

como una oxidación acelerada y continua que desgasta, deteriora y que incluso puede afectar la integridad física de los objetos o estructuras. (María Teresa Cortés M. / Pablo Ortiz H)

2.1. CASOS DE CORROSIÓN

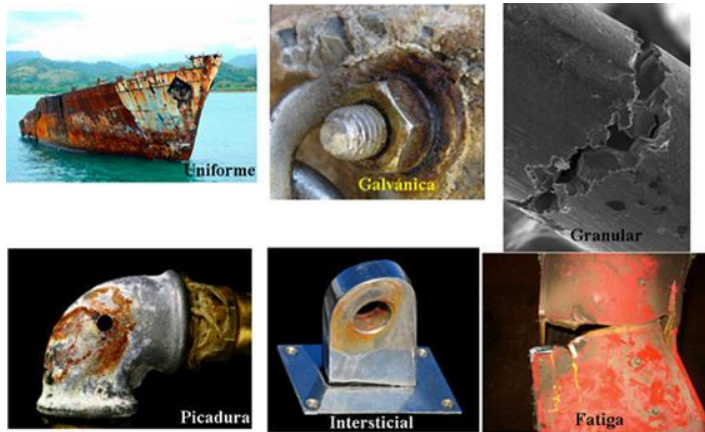


Figura 5. Corrosión según tipo

2.2. TIPOS DE CORROSIÓN

Corrosión uniforme: consiste en un ataque homogéneo en toda la superficie. Existe igual penetración en todos los puntos. Se puede calcular la vida útil de los materiales expuestos.

Corrosión por picadura: el ataque se localiza en puntos asilados de superficies metálicas pasivas y se propaga al interior del metal. En ocasiones por túneles microscópicos. Las picaduras son difíciles de detectar en ocasiones debido a que las pequeñas pueden estar recubiertas por los productos de corrosión.

Corrosión bajo tensión: ocurre cuando el metal es sometido simultáneamente a un medio corrosivo y a tensión mecánica de tracción. Aparecen fisuras que se propagan al interior del metal hasta que se relajan o el metal se fractura. (Antioquia, 2010)

Corrosión de dos metales o galvánica: La corrosión galvánica se presenta, cuando dos metales diferentes en contacto o conectados por medio de un conductor eléctrico, son expuestos a una solución conductora.

Corrosión por agrietamiento: la corrosión por grietas es una forma de corrosión electroquímica localizada que puede ocurrir en las grietas y bajo superficies recubiertas donde sea posible que existan soluciones estancadas.

Corrosión intergranular: es un ataque corrosivo localizado en y/o adyacente a las fronteras de grano de una aleación. En condiciones comunes si un metal se corroe de manera uniforme, las fronteras de grano solo serán un poco más reactivas que la matriz. Sin embargo, en otras condiciones, las regiones de la frontera de grano pueden ser muy reactivas, y causar corrosión intergranular que provoca la pérdida de resistencia de la aleación inclusive la desintegración en las fronteras de grano.

Corrosión por erosión: puede definirse como la aceleración en la velocidad del ataque corrosivo a un metal debido al movimiento relativo de un fluido corrosivo, y de la superficie metálica. La corrosión por erosión se caracteriza por la aparición en la superficie metálica de huecos, valles, picaduras, hoyos redondeados y otras configuraciones de daño de la superficie metálica que suelen ocurrir en la dirección del flujo del fluido corrosivo.

Daño por cavitación: este tipo de corrosión por erosión resulta de la formación y el colapso de las burbujas de aire o de las cavidades llenas de vapor en un líquido cerca de una superficie metálica.

Corrosión por desgaste: ocurre en interfaces entre materiales bajo carga expuestos a vibración y deslizamiento. En el caso de la corrosión por desgaste de metales, los fragmentos metálicos entre

las superficies en frotamiento se oxidan y algunas películas de óxido se desprenden por la acción de desgaste.

Fugas selectivas: Las fugas selectivas corresponden a la eliminación preferencial de un elemento de una aleación sólida mediante un proceso de corrosión. El ejemplo más común de este tipo de corrosión es la deszinificación, en la cual ocurre la fuga selectiva de zinc a partir de cobre en latones. También se producen procesos similares en otros sistemas de aleaciones tales como las pérdidas de níquel, estaño y cromo a partir de aleaciones de cobre, hierro de hierro fundido, níquel de aleaciones de acero, y cobalto a partir de estelita.

(Ruge, 2016)

2.3. FACTORES MÁS TÍPICOS DE CORROSIÓN

La corrosión depende mayormente de la cantidad de humedad y de sustancias que puedan atacar el material en el ambiente en el cual este esté presente, así que la parte más importante no es la elección de un material, si no, entender la situación y el medio para así optar por la mejor forma de combatir el fenómeno de la corrosión.

Dicho esto, se nombrarán las causas más típicas de corrosión:

- Humedad relativa al aire
- Temperatura elevada
- Existencia de sustancias en suspensión en el aire que con la humedad generan un medio electrolítico.
- Corrientes eléctricas

3. TÉCNICAS ELECTROQUÍMICAS

En términos simples, las pruebas de corrosión electroquímica proporcionan datos iniciales sobre el comportamiento a la corrosión de los materiales mediante la generación de energía eléctrica a partir de reacciones químicas o la producción de reacciones químicas mediante la introducción de energía eléctrica. (Bassett, 2014)

Velocidad de corrosión: (cinética de corrosión) muestra que tan rápido o que tan lento se corroe un material, se obtiene al determina el valor de la densidad de corriente (I_{corr}) ya sea por resistencia a la polarización lineal o por espectroscopia de impedancia electroquímica. (Tristancho, Pena, & Anaya, 2007)

3.1. CURVAS DE POLARIZACIÓN Y EXTRAPOLACION DE TAFEL

El potencial de un metal, que se hace actuar como un electrodo en una celda electroquímica, además de poderse modificar en función del tiempo, cambia de la mimas forma, en función de la densidad de corriente que se le aplique (procedimiento potencioestado). En el procedimiento galvánico se mantiene constante la densidad de corriente aplicada.

En el procedimiento de la obtención de las curvas de polarización se aplica una potencia de $\approx 20\text{mV}$ respecto al potencial de corrosión, se logran observar los datos derivados de las polarizaciones tanto anódica como catódica. El barrido de potencial se gráfica en función de la densidad de corriente.

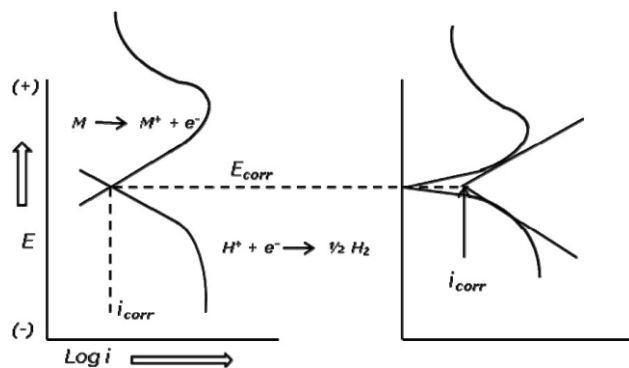


Figura 6. Diagrama de Tafel

3.2. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL (RPL)

La resistencia a la polarización es una de las técnicas más comúnmente usadas para la determinación de la velocidad de corrosión de los materiales; es la resistencia que pone un material a ser oxidado cuando a este se le aplica un potencial externo.

Solo necesita la aplicación de pequeñas polarizaciones para no afectar la superficie del electrodo de trabajo, y se determina calculando la pendiente de la región lineal de la curva en el diagrama.

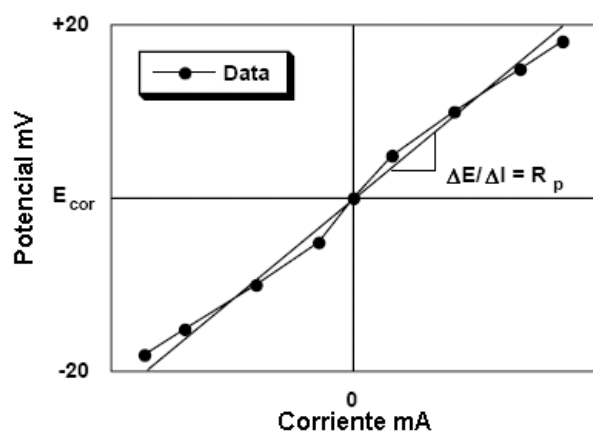


Figura 7. Diagrama de resistencia a la polarización lineal

Mediante un potenciostato con un potencial de $\approx 20\text{mV}$ se aplican pequeñas polarizaciones alrededor del potencial en reposo a una velocidad de $0,1\text{mV/s}$ y obtener una respuesta de corriente lineal con la tensión.

Después de obtener la resistencia a la polarización y las pendientes de Tafel se determina la densidad de corriente de corrosión mediante la ecuación de Stern-Geary.

$$I_{CORR} = \frac{\beta}{R_p}$$

Donde,

$$\beta = (b_a b_c) / [2,303(b_a + b_c)]$$

I_{CORR} = densidad de corriente de corrosion ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)

R_p = resistencia a la polarizacion ($\Omega.\text{cm}^2$)

b_a = pendiente anodica de Tafel (V)

b_c = pendiente catodica de Tafel (V)

La velocidad de corrosión se determinará de la siguiente manera:

$$V_{CORR} = 3.27 \times 10^{-3} (I_{CORR} PE / \rho)$$

Donde,

V_{CORR} = velocidad de corrosion (mpy)

PE = peso equivalente del material (g)

ρ = densidad del material (g/cm^3)

(Tristancho, Pena, & Anaya, 2007)

4. DESARROLLO Y PRUEBAS

4.1. PROBETAS

Se usó 1 probeta por cada uno de los aceros inoxidable en estudio (AISI-SAE 430 y AISI-SAE 304) para la realización de las curvas de polarización y resistencia a la polarización lineal, las cuales fueron obtenidas en un taller de metalmecánica donde se encargan de la fabricación de todo lo relacionado con aceros inoxidables, tales como mesas, mesones, barriles, canecas, rodillos...

A las probetas se le modificaron sus dimensiones de tal forma que quedaran de la medida necesaria para la celda electroquímica.

4.2. CELDAS ELECTROQUÍMICAS

El área de contacto entre la solución preparada y el electrodo de trabajo es de $78,537 \text{ mm}^2$, esta área corresponde al espacio hueco que tiene el empaque instalado en la celda electroquímica, en la siguiente ilustración se muestra de forma detallada.

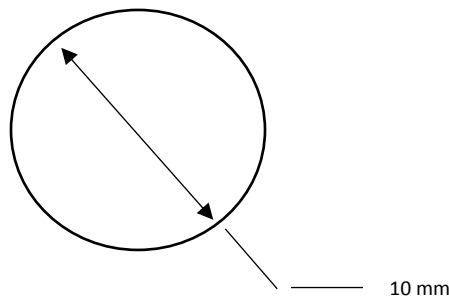


Ilustración 1. Área de contacto entre el electrodo y la solución líquida

La celda electroquímica no fue desarrollada en este proyecto, dado que, en una investigación anterior se realizó el diseño y fabricación de la celda. Con la debida autorización del Centro de Estudios y Consultoría en Ensayos no Destructivos y Resistencia de Materiales CECEND y de los autores de la celda se hizo uso de esta, además de eso, los fabricantes colaboraron con la realización de esta investigación proporcionando los planos de diseño de la celda electroquímica.

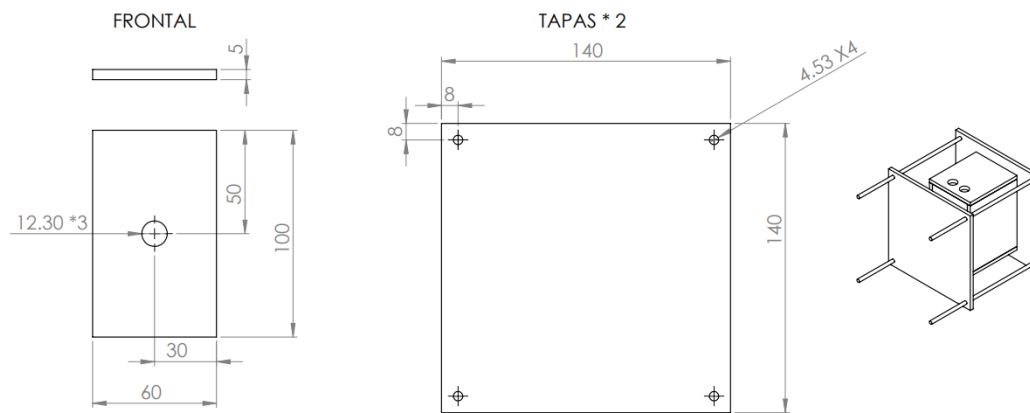


Ilustración 2. Plano celda electroquímica vista frontal y tapas

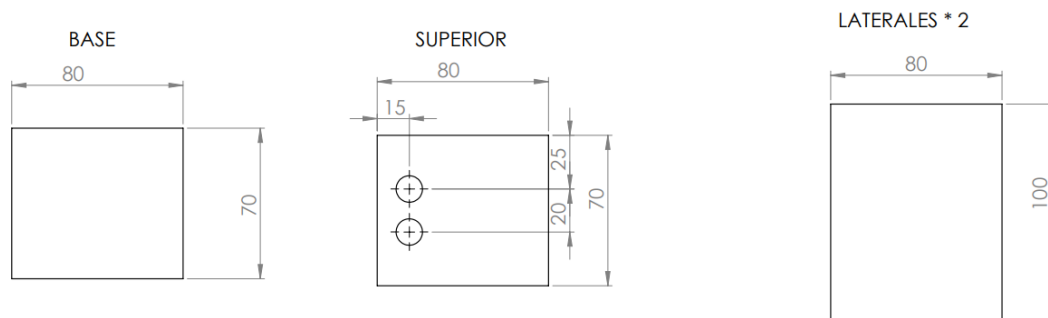


Ilustración 3. Plano celda electroquímica vista superior, lateral y base



Figura 8. Celda electroquímica

(Fuente: EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS CADMIO, CROMO Y NÍQUEL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE COMPONENTES AERONÁUTICOS, Alejandra Pedraza y Andrés Felipe Serna, 2018)

Estas celdas están fabricadas en un material acrílico transparente por motivos económicos, además de esto, se puede observar el nivel de solución líquida y al no ser de un material metálico, pues no interfiere en la realización de los ensayos; al momento de la realización, los fabricantes realizaron 2 celdas iguales, entonces, en este trabajo de investigación se usaron ambas con el fin de trabajar ambos materiales al tiempo.

En las celdas de trabajo se usaron 3 electrodos para realizar la toma de datos así:

Electrodo de trabajo: Probetas de cada uno de los aceros inoxidable (Probetas proporcionadas por el estudiante).

Electrodo de referencia: Alambre de alta pureza de platino (Material proporcionado por el CECEND).

Contraelectrodo: Varilla de grafito.

Electrolito: Se emplearon 2 tipos de electrolitos

Ácido acético con una concentración del 3%

Solución salina con una concentración al 3.5% en peso

El electrolito de solución salina fue preparado y agitado hasta que no se observen los micro granos de sal suspendidos en el agua.

Al momento de tener los electrolitos preparados, se pasa a la ubicación de las probetas en las celdas de trabajo, con estas en su lugar se debe garantizar que no presente fugas del electrolito para evitar confusiones o alteraciones en los resultados obtenidos; las probetas se colocaron de manera directa en el orificio del área de contacto y se apoyaron con un cilindro de caucho para generar la presión necesaria que evitara las pérdidas.

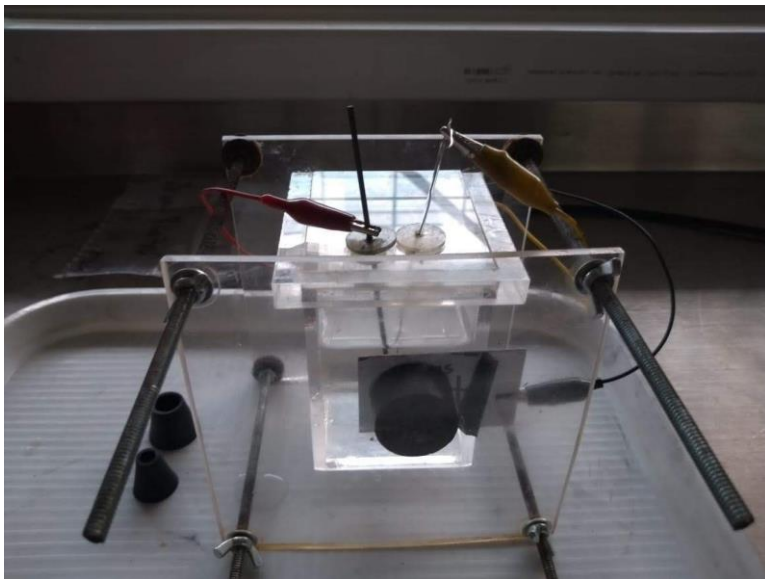


Figura 9. Montaje de probeta en celda electroquímica

4.3. DESARROLLO EXPERIMENTAL Y MEDICIONES ELECTROQUÍMICAS

Se utilizaron 2 metodologías o tipos de prueba para determinar la velocidad de corrosión en cada una de las probetas, se utilizó la resistencia a la polarización lineal (RPL) y las curvas de

polarización. Las pruebas anteriormente mencionadas se realizaron en el transcurso de 2 semanas, para analizar ambas probetas en ambos tipos de electrolitos, debido a que, las pruebas debían realizarse y tomar datos cada 24 horas.

Para el desarrollo de pruebas se hizo uso del potenciostato-galvanostato PG-TEKCORR 4.2 USB, propiedad del laboratorio, este equipo fue suministrado por el director del proyecto y también director del laboratorio, quien se encargó de explicar el funcionamiento de este y vigilar constantemente el uso.



Figura 10. Equipo potenciostato-galvanostato

El software computacional “PG 01X18E1CE6” necesita de una serie de parámetros para la posible realización de las técnicas electroquímicas. Los parámetros están consignados en la siguiente tabla

Material	AISI-SAE 304	AISI-SAE 430
Peso equivalente [g/mol]	0,2509	0,243
Densidad [g/cm ³]	7,8	7,8
Área [cm²]	0,785	0,785
PH agua	6,7	6,7

Tabla 1. Parámetros para realización de técnicas electroquímicas

El peso equivalente del material se halló mediante la siguiente ecuación:

$$P.E = \frac{1}{N_{EQ}}$$

$$N_{EQ} = \sum \left(\frac{f_i * n_i}{a_i} \right)$$

Donde

f_i = *Francción masa*

n_i = *Intercambio de electrones (valencia)*

a_i = *Peso atómico*

Para realizar la técnica electroquímica de curvas de polarización o extrapolación de TAFEL se consideraron los siguientes parámetros:

Sensibilidad 10nA

Velocidad de escaneo 10 mV/s

Y para la realización de la técnica electroquímica de resistencia a la polarización lineal (RPL) se consideraron los siguientes parámetros:

Sensibilidad 10nA

Velocidad de escaneo 1.0 mV/s



Figura 11. Toma de datos

4.4. NOMENCLATURA DE ENSAYOS

Debido a la cantidad de ensayos, se hace necesario asignarle un nombre a cada uno de ellos por practicidad al momento de la toma de datos y del análisis de resultados. En la siguiente tabla se muestra el nombre a cada ensayo, según el tipo de técnica utilizada, el electrolito usado y la

cantidad de horas de exposición en el momento de la toma de datos; a continuación, se hace la explicación más clara con un ejemplo:

T304SAL00

T = Curva de polarización o extrapolación TAFEL

304 = Material AISI-SAE 304

SAL = Electrolito Salmuera

00 = 0 horas de exposición

R430VIN96

R = Resistencia a la polarización lineal

430 = Material AISI-SAE 430

VIN = Ácido acético

96 = 96 horas de exposición

ENSAYO	CURVA DE POLARIZACIÓN O EXTRAPOLACIÓN DE TAFEL	RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL	PERIODOS DE EXPOSICIÓN [HORAS]				
			0	24	48	72	96
T304SAL00	X		X				
T304SAL24	X			X			
T304SAL48	X				X		
T304SAL72	X					X	
T304SAL96	X						X
R304SAL00		X	X				
R304SAL24		X		X			
R304SAL48		X			X		
R304SAL72		X				X	
R304SAL96		X					X
T304VIN00	X		X				
T304VIN24	X			X			
T304VIN48	X				X		

T304VIN72	X					X	
T304VIN96	X						X
R304VIN00		X	X				
R304VIN24		X		X			
R304VIN48		X			X		
R304VIN72		X				X	
R304VIN96		X					X
T430SAL00	X		X				
T430SAL24	X			X			
T430SAL48	X				X		
T430SAL72	X					X	
T430SAL96	X						X
R430SAL00		X	X				
R430SAL24		X		X			
R430SAL48		X			X		
R430SAL72		X				X	
R430SAL96		X					X

T430VIN00	X		X				
T430VIN24	X			X			
T430VIN48	X				X		
T430VIN72	X					X	
T430VIN96	X						X
R430VIN00		X	X				
R430VIN24		X		X			
R430VIN48		X			X		
R430VIN72		X				X	
R430VIN96		X					X

Tabla 2. Nomenclatura de ensayos

5. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. RESULTADOS OBTENIDOS

A continuación, se mostrarán todos los resultados obtenidos mediante las 2 técnicas electroquímicas a ambos materiales. Los ensayos se hacen con el fin de obtener la velocidad de corrosión de los 2 tipos de acero inoxidable expuestos a una mezcla de Salmuera y de ácido acético durante un periodo de una semana para cada electrolito.

5.2. CURVAS DE POLARIZACION O EXTRAPOLACIÓN TAFEL

ENSAYO	ANÓDICA β_a [mV/dec]	CATÓDICA β_c [mV/dec]
T304SAL00	66.57	-66.24
T304SAL24	47.72	-47.87
T304SAL48	78.03	-78.84
T304SAL72	73.3	-73.82
T304SAL96	71.17	-71.61
T304VIN00	66.08	-66.1
T304VIN24	61.77	-62.2
T304VIN48	77.9	-77.78
T304VIN72	90.51	-90.86
T304VIN96	113.53	-113.29

Tabla 3. Resultado curvas de polarización TAFEL para acero AISI-SAE 304

ENSAYO	ANÓDICA β_a [mV/dec]	CATÓDICA β_c [mV/dec]
T430SAL00	46.59	-35.26
T430SAL24	52.94	-51.2

T430SAL48	31.88	-31.96
T430SAL72	65.21	-62.37
T430SAL96	43.01	-43.98
T430VIN00	79.27	-79.54
T430VIN24	124.37	-123.32
T430VIN48	65.16	-65.08
T430VIN72	90.26	-90.49
T430VIN96	103.53	-103.74

Tabla 4. Resultado curvas de polarización TAFEL para acero AISI-SAE 430

Las tablas 3 y 4 expuestas anteriormente son los resultados obtenidos para cada una de las probetas en contacto con cada uno de los electrolitos.

Se hace necesario conocer las constantes de TAFEL anódica (β_a) y catódica (β_c) para introducirlas en el programa computacional y así poder realizar el análisis de resistencia a la polarización lineal, esto es porque las técnicas van de la mano.

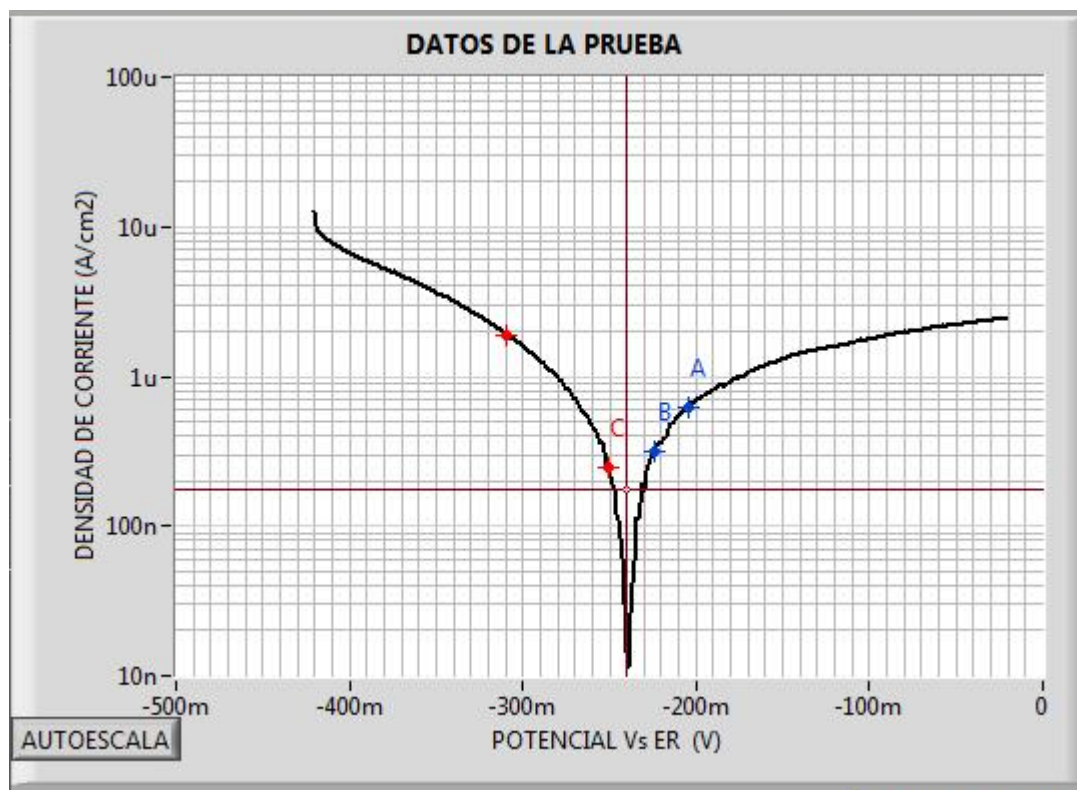
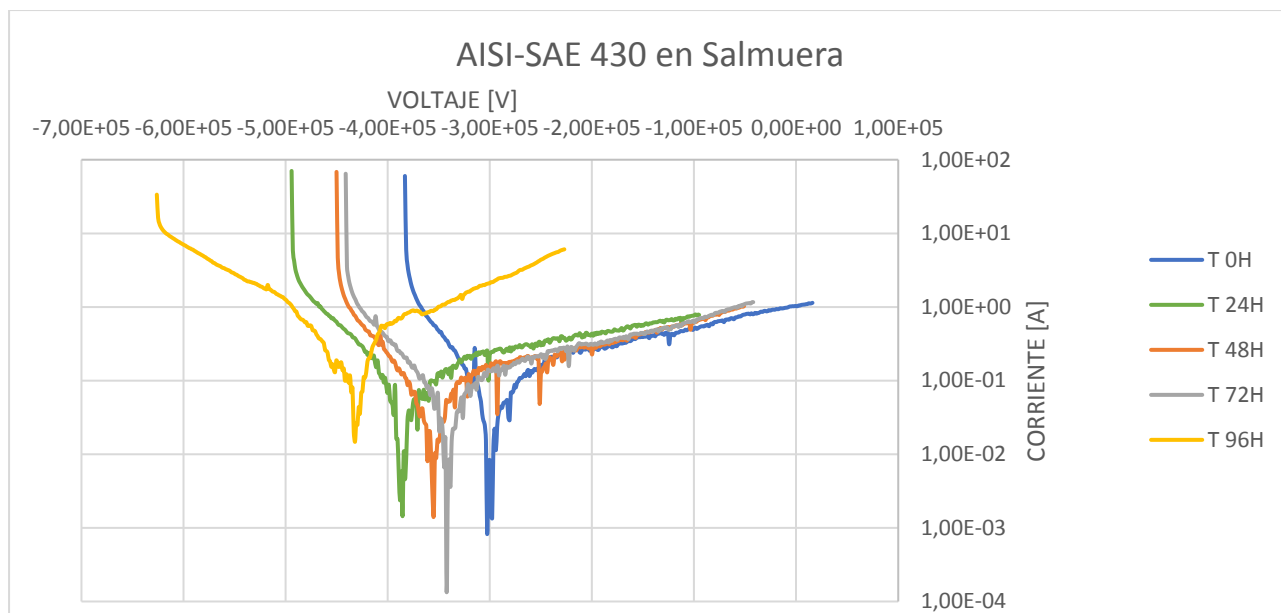


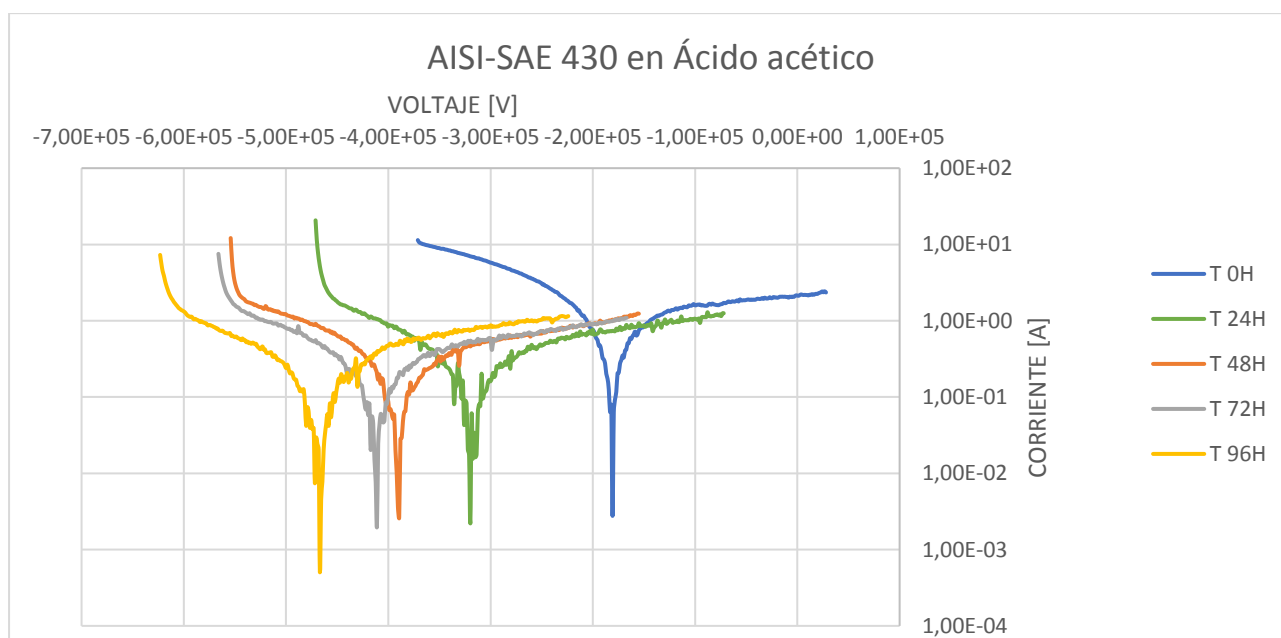
Figura 12. Curvas de polarización o extrapolación TAFEL

La figura anterior es una de las curvas arrojadas por el programa “PG 01X18E1CE6” después de aplicar la técnica de curvas de polarización o extrapolación TAFEL, y sirve como ejemplo para el desarrollo de las gráficas siguientes.

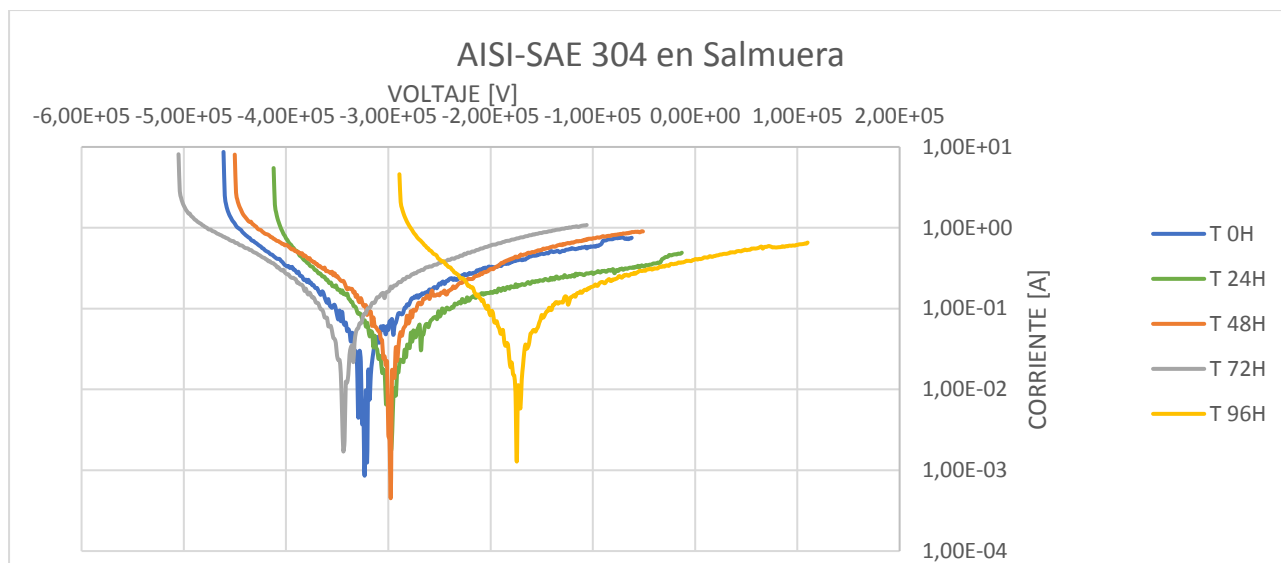
A continuación, se presentan 4 gráficas con la recopilación de la información obtenida desde el programa computacional para cada una de las probetas en cada uno de los electrolitos durante un tiempo de exposición. Los datos recopilados se alimentaron en un cuadro de Excel de manera clasificada para cada exposición que permite tener de forma gráfica toda la información.



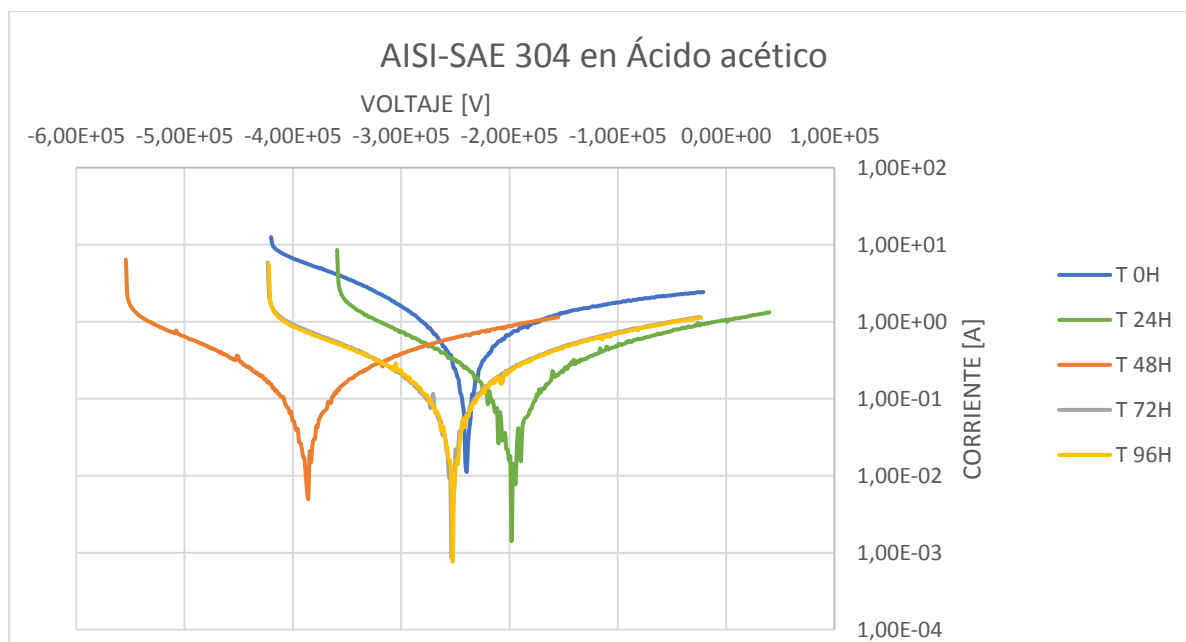
Gráfica 1. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 430 en Salmuera



Gráfica 2. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 430 en Ácido acético



Gráfica 3. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 304 en Salmuera



Gráfica 4. Curva de extrapolación o TAFEL AISI-SAE 304 en Ácido acético

5.3. RESISTENCIA A LA POLARIZACIÓN LINEAL (RPL)

Los resultados de la técnica electroquímica Resistencia a la polarización lineal (R_p) permiten obtener: 1. Densidad de corriente (I_{corr}) 2. Velocidad de corrosión (V_{corr})

La cinética de corrosión se determinó mediante la ecuación de Stern and Geary donde se relacionan la densidad de corriente (I_{corr}) en mA/cm² y el valor de la resistencia a la polarización (R_p) en Ω.cm²

$$R_p = \frac{\beta}{I_{corr}}$$

β = constante adimensional que se determina a partir de valores de las curvas de Tafel anódica (β_a) y catódica (β_c), haciendo uso de la siguiente ecuación:

$$\beta = \frac{(b_a \cdot b_c)}{[2,303(b_a + b_c)]}$$

La velocidad de corrosión se encuentra en función de la densidad de corriente, el peso equivalente y la densidad del material.

$$V_{corr} = 3,27 * 10^{-3} (I_{corr} P.E / \rho)$$

$$I_{corr} = \text{mA/cm}^2$$

$$P.E = g$$

$$\rho = g/cm$$

En las siguientes tablas se encuentran los resultados después de aplicar la técnica electroquímica de Resistencia a la polarización lineal con 5 tomas de datos cada 24 horas.

Ensayo	Constante de Stearn and Geary	Rp [Ω]	Icorr [mA/cm2]	Vcorr [MPY]
T304SAL00	14.417	72.00	0.200	3.45E-04
T304SAL24	10.377	44.34	0.234	4.04E-04
T304SAL48	17.028	53.73	0.317	5.47E-04
T304SAL72	15.970	46.02	0.347	5.99E-04
T304SAL96	15.499	56.63	0.274	4.72E-04
T304VIN00	14.349	13.68	1.049	1.81E-03
T304VIN24	13.457	41.98	0.321	5.53E-04
T304VIN48	16.900	45.33	0.373	6.43E-04
T304VIN72	19.688	47.27	0.416	7.19E-04
T304VIN96	24.622	54.30	0.453	7.82E-04

Tabla 5. Resultado RPL para AISI-SAE 304 según ensayo

ENSAYO	Constante de Stearn and Geary	Rp [Ω]	Icorr [mA/cm2]	Vcorr [MPY]
---------------	--------------------------------------------------	---------------------------------	---------------------------	------------------------

T430SAL00	8.715	29.35	0.297	5.12E-04
T430SAL24	11.302	50.08	0.226	3.89E-04
T430SAL48	6.930	46.29	0.150	2.58E-04
T430SAL72	13.842	51.42	0.269	4.64E-04
T430SAL96	9.442	19.03	0.496	8.56E-04
T430VIN00	17.239	8.35	2.063	3.56E-03
T430VIN24	26.887	66.21	0.406	7.01E-04
T430VIN48	14.138	29.22	0.484	8.35E-04
T430VIN72	19.621	37.14	0.528	9.12E-04
T430VIN96	22.500	33.75	0.667	1.15E-03

Tabla 6. Resultados RPL para AISI-SAE 430 según ensayo

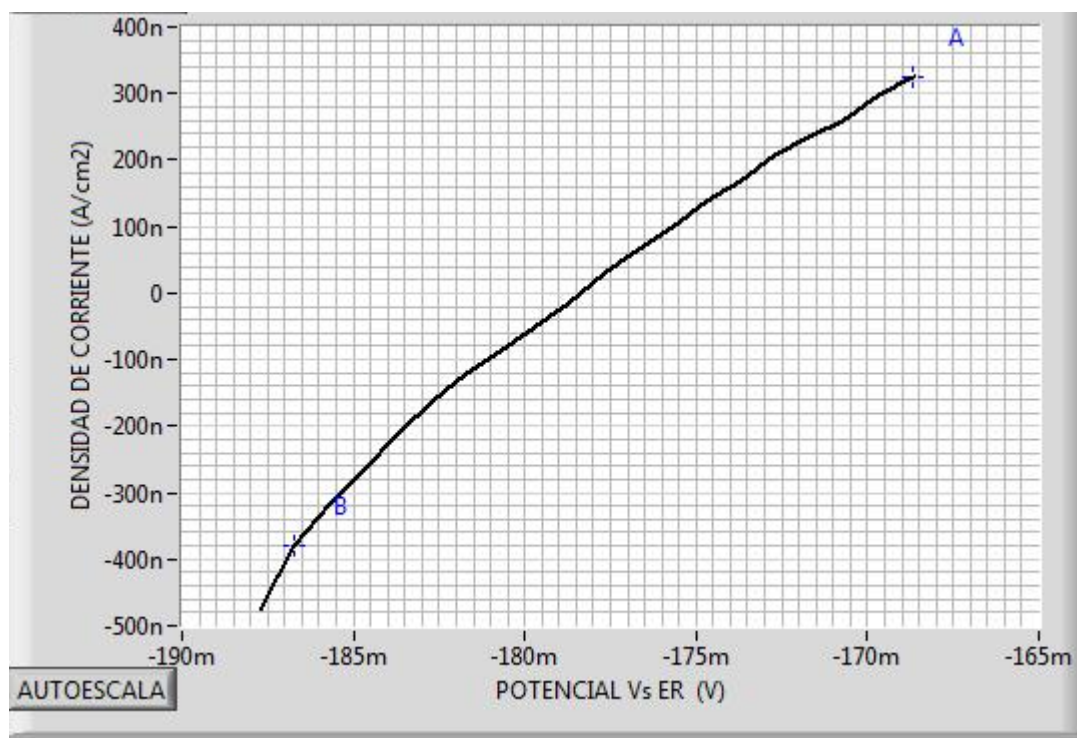
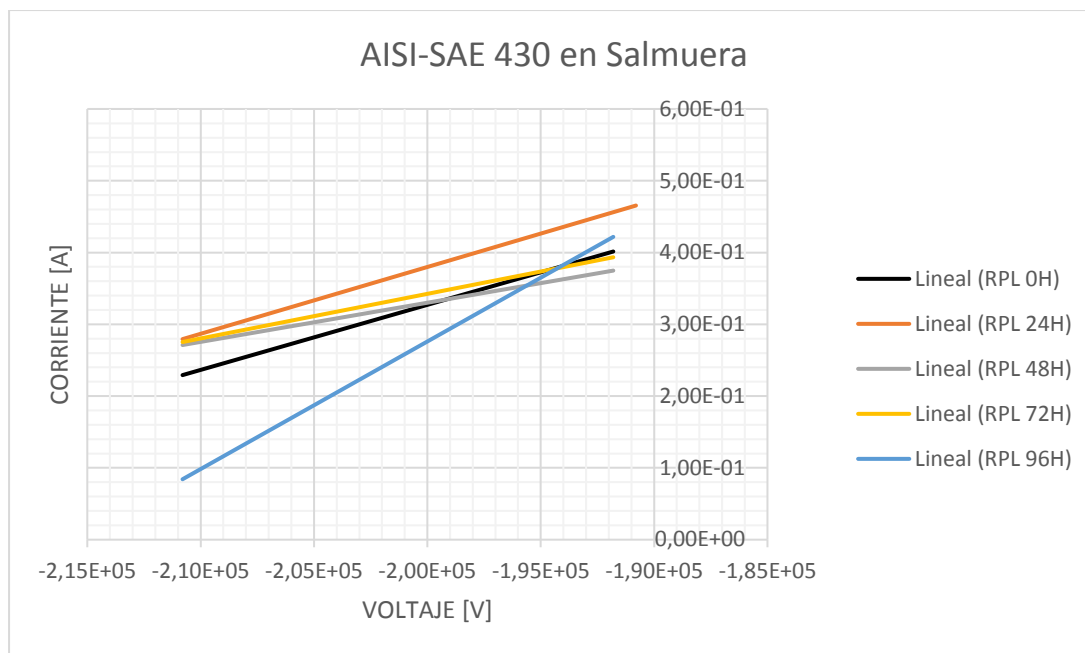
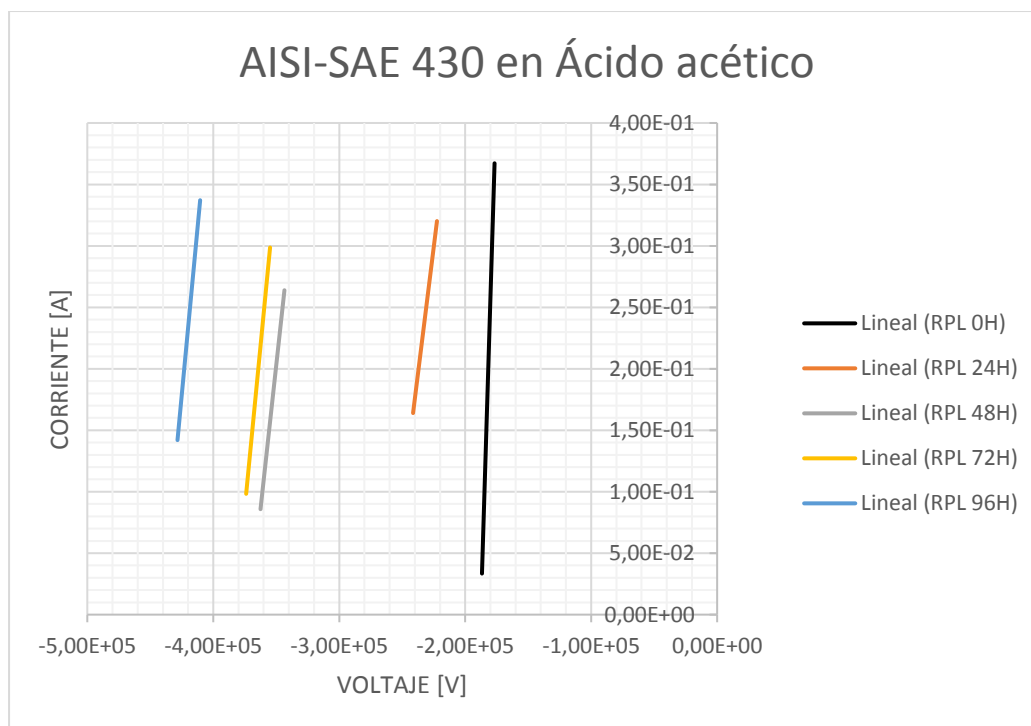


Figura 13. Ejemplo de gráfica arrojada por el programa

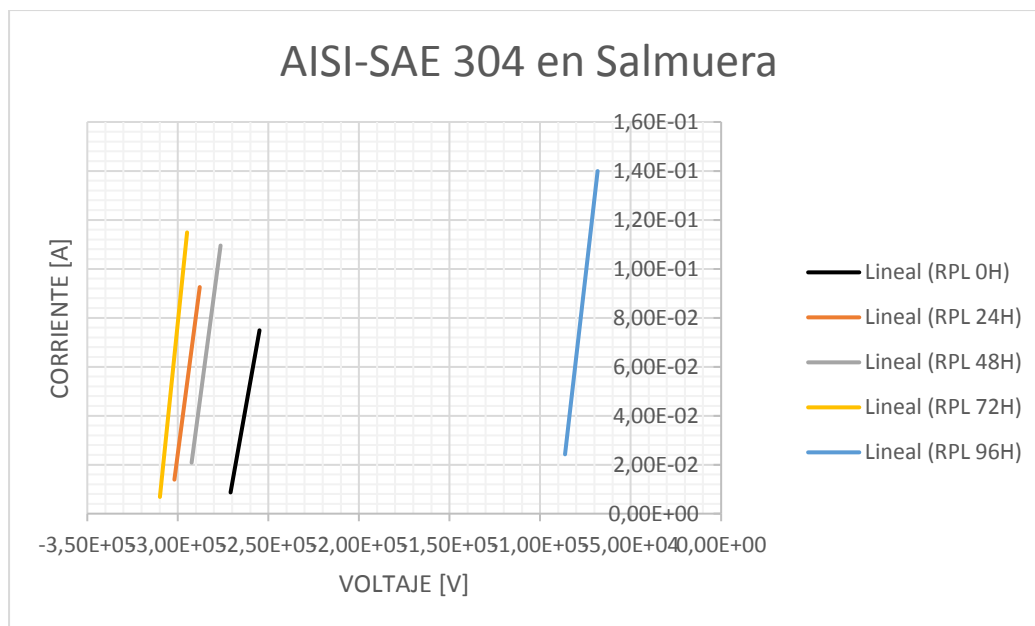
La figura 14 es una de las gráficas arrojadas por el programa computacional, a partir de este tipo de graficas de obtienen resultados, los cuales fueron almacenados y procesados en un cuadro de Excel para su posterior análisis.



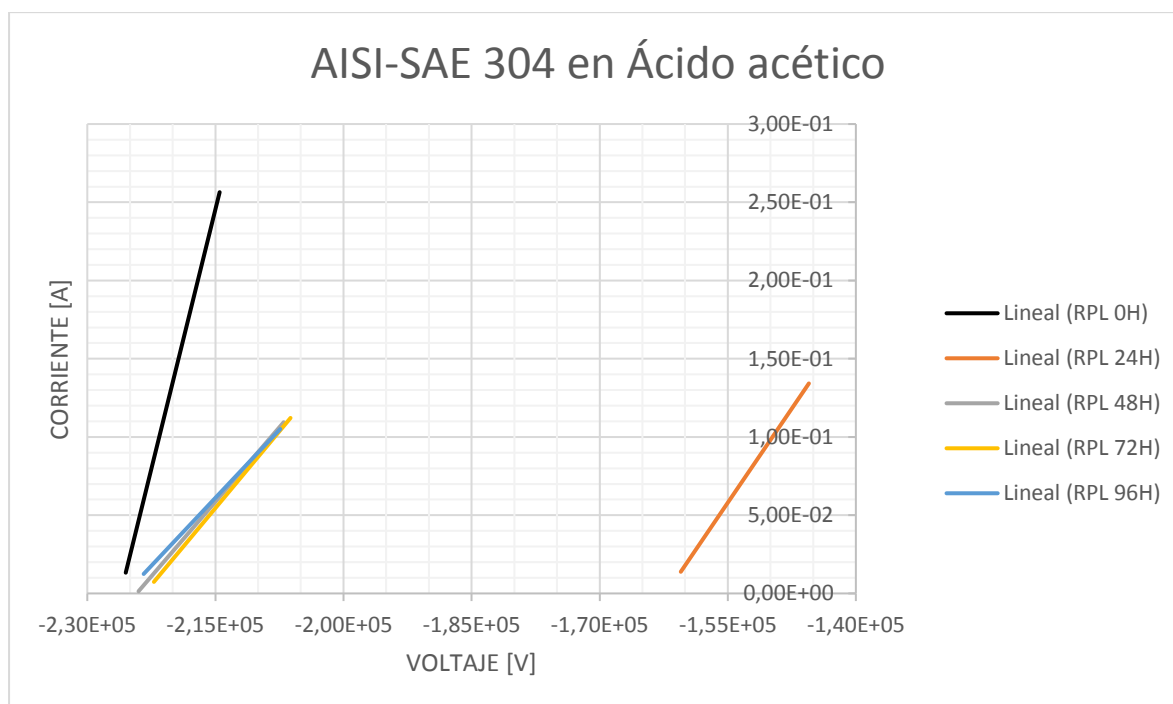
Gráfica 5. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 430 en Salmuera



Gráfica 6. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 430 en Ácido acético



Gráfica 7. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 304 en Salmuera

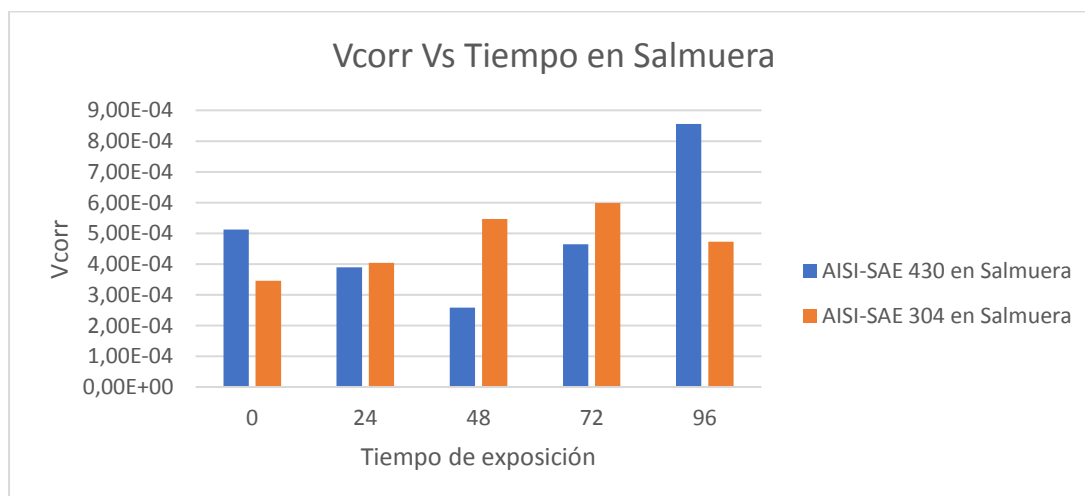


Gráfica 8. Resultados procesados para RPL aplicado en AISI-SAE 304 en Ácido acético

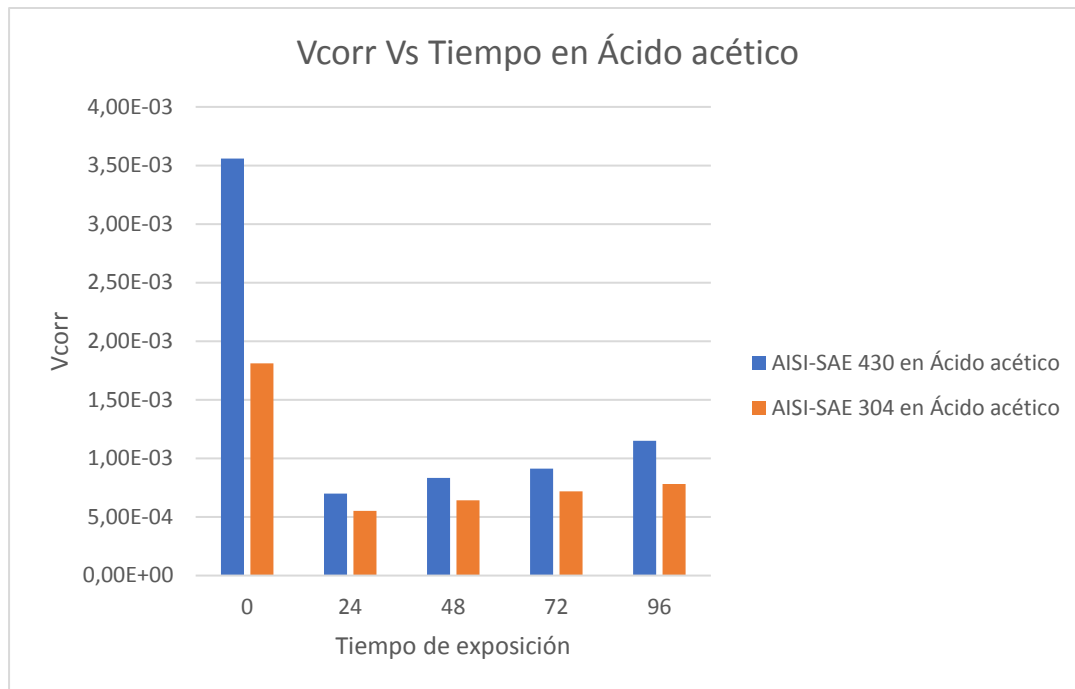
6. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Después de todo el análisis, recopilación de datos, procesamiento e interpretación, además de que todo esto fue gracias a pruebas electroquímicas de curvas de polarización y resistencia a la polarización lineal realizadas a las probetas en electrolitos diferentes, los cuales eran Salmuera y Ácido acético se pueden observar varias situaciones, como que la velocidad de corrosión de cada material según el electrolito es diferente, y ambas probetas presentan un comportamiento más lento a la corrosión si están sumergidos en salmuera.

En las siguientes gráficas se puede observar que en salmuera la mayor velocidad de corrosión la presenta el acero inoxidable AISI-SAE 430 a las 96 horas de exposición con un valor de $8.56 \cdot 10^{-4}$ MPY mientras que el acero inoxidable AISI-SAE 304 con el mismo tiempo de exposición presenta un valor de $4.72 \cdot 10^{-4}$ MPY. En cambio, si los materiales están sumergidos en Ácido acético el mayor valor de velocidad de corrosión lo presenta el acero inoxidable AISI-SAE 430 a las 0 horas con un valor de $3.56 \cdot 10^{-3}$ MPY y el acero inoxidable AISI-SAE 304 con el mismo tiempo de exposición presenta un valor de $1.81 \cdot 10^{-3}$ MPY representando la mayor velocidad de este material en dicho electrolito.



Gráfica 9. Comparación velocidad de corrosión en Salmuera



Gráfica 10. Comparación velocidad de corrosión en Ácido acético

Realizando una comparación entre las tablas 6, 6 y las gráficas 9, 10, se puede observar que el acero inoxidable AISI-SAE 304 en Salmuera presenta la resistencia mayor a las 0 horas de exposición, por tanto, es allí donde presenta el valor más bajo de velocidad de corrosión, también, el AISI-SAE 430 presenta el valor de resistencia mayor a las 48 horas de exposición y es allí donde su velocidad de corrosión es más baja.

Para el electrolito de ácido acético los comportamientos se empiezan a asemejar cuando ambos presentan las velocidades de corrosión más bajas en un tiempo de exposición de 24 horas, sin embargo, no son las resistencias más bajas, esto se debe a que los valores de constantes de Stearn and Geary, y el peso equivalente son diferentes.

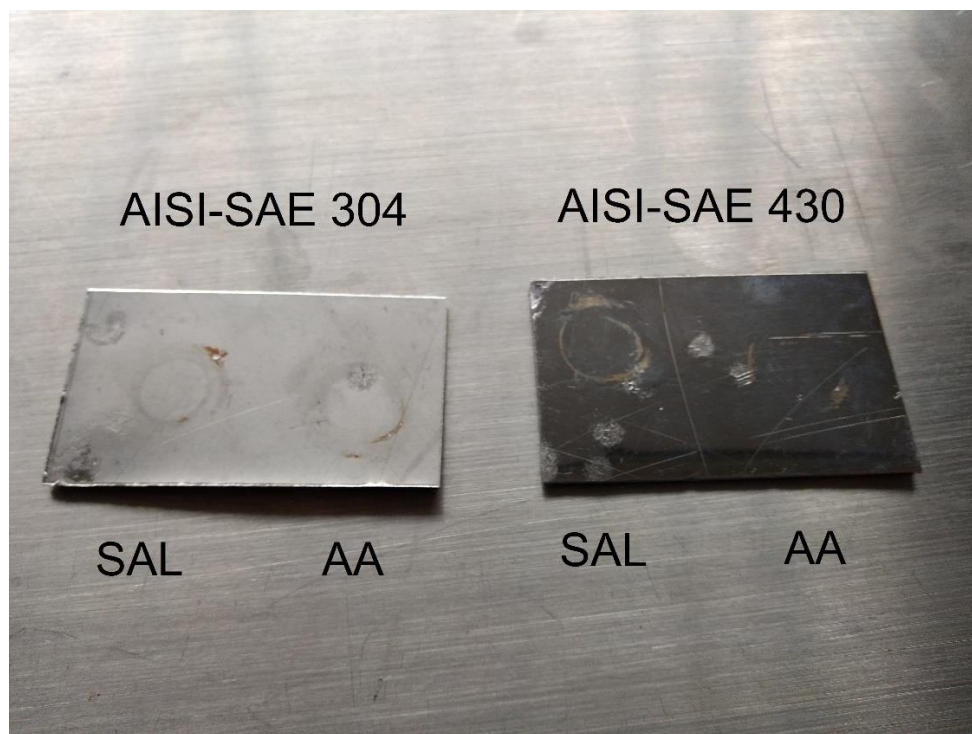


Figura 14. Probetas después de toma de datos

7. CONCLUSIONES

Después de realizar todos los procedimientos de toma de datos, de análisis de información y de obtención de resultados a las probetas de materiales inoxidables AISI-SAE 304 y AISI-SAE 430 en electrolitos diferentes (Salmuera y Ácido acético) y por medio de 2 técnicas electroquímicas:

1. Curvas de polarización. 2. Resistencia a la polarización lineal; todo esto durante exposiciones de 0, 24, 48, 72, 96 horas, se puede concluir que presentan comportamientos muy diferentes en cada uno de los ambientes de corrosión simulados.

El acero inoxidable AISI-SAE 430 es el elemento que presenta mayor velocidad de corrosión en ambientes salinos en cualquier momento de la exposición, sin embargo, en ácido acético la mayor velocidad la presenta en una exposición de 0 horas, con esto se concluye que el acero AISI-SAE 304 es el material más resistente a la corrosión en ambientes altamente corrosivos.

8. REFERENCIAS

- [1] aires, u. d. (2004). *trabajos practicos de laboratorio N3 "corrosion"*. Obtenido de <http://materias.fi.uba.ar/6303/TPN3.pdf>
- [2] [http://www.nks.com/es/distribuidor de acero inoxidable/acero inoxidable 430.html](http://www.nks.com/es/distribuidor_de_acero_inoxidable/acero_inoxidable_430.html)
- [3] <https://nks.com/es/distribuidor-de-acero-inoxidable/acero-inoxidable-304/>
- [4] <http://www.cedinox.es/opencms901/export/sites/cedinox/.galleries/fichas-tecnicas-producto/113ACX340.pdf>
- [5] <https://www.invima.gov.co/procesos/archivos/IVC/INS/IVC-INS-GU010.pdf>
- [6] <http://hipotesis.uniandes.edu.co/hipotesis/images/stories/ed04pdf/Corrosion.pdf>
- [7] https://www.uaeh.edu.mx/investigacion/icbi/LI_RecCorr/maria_veloz/CuernavacaECorr7.pdf
- [8] <http://revistas.utp.edu.co/index.php/revistaciencia/article/view/2589/1495>
- [9] http://revistas.sena.edu.co/index.php/inf_tec/article/view/99/112
- [10] CES Edupack 2013. (2013). Alemania.
- [11] <http://www.unilibre.edu.co/revistaingeniolibre/revista5/articulos/Conceptos-basicos-de-la-corrosion-2.pdf>
- [12] <http://hipotesis.uniandes.edu.co/hipotesis/images/stories/ed04pdf/Corrosion.pdf>
- [13] <http://www.tpi.cl/pdf/biblioteca/industrial/corros2.pdf>
- [14] <http://info.metal-tec.com.mx/blog/causas-comunes-de-corrosion-en-estructuras-metalicas>
- [15] <http://www.equiposyhornosjsa.com/artesa.html>

[16] EVALUACIÓN ELECTROQUÍMICA DE LOS RECUBRIMIENTOS CADMIO, CROMO
Y NÍQUEL PARA LA PROTECCIÓN CONTRA LA CORROSIÓN DE COMPONENTES
AERONÁUTICOS, Alejandra Pedraza y Andrés Felipe Serna, 2018